

2002P711275



(10) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) Offenlegungsschrift
(10) DE 199 63 333 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/25
G 06 T 11/00

80 37

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Hoffmann, Christian, Dr., 81545 München, DE

(56) Entgegenhaltungen:

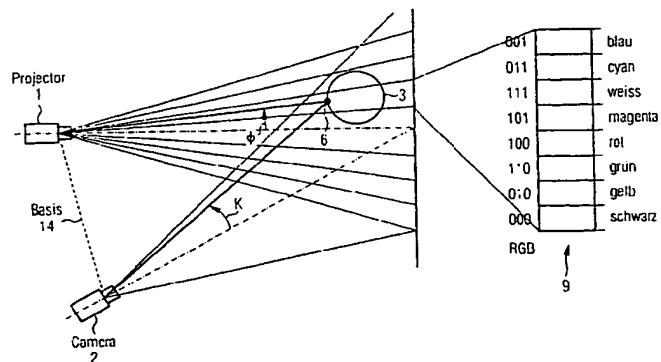
DE 196 38 727 A1
DE 39 06 215 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Ermittlung von dreidimensionalen Oberflächenkoordinaten

(57) Durch die Ausgestaltung eines zweidimensionalen Farbmusters 9, bestehend aus farbigen Musterelementen 10, gelingt es, ein besonderes kompaktes und daher störungssicheres Farbmuster für eine Codierung bereitzustellen. Ziel ist die Ermittlung des Projektionswinkels ϕ für ein Musterelement in der Bildaufnahme des zweidimensionalen auf ein Objekt projizierten Farbmusters. Durch anschließende Triangulation bei bekannter Position des Projektors und einer Kamera können die dreidimensionalen Daten eines Objektpunktes berechnet werden.



DE 199 63 333 A 1

BEST AVAILABLE COPY

DE 199 63 333 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine dreidimensionale optische Vermessung der Oberfläche von Gegenständen. Dies spielt eine besondere Rolle bei der Konstruktion, beispielsweise im Nachbau, bei der Fertigungskontrolle, insbesondere zur Qualitätsüberwachung, im Re-Engineering, wie Reparaturen, Erweiterungen von bestehenden Maschinen und Anlagen, eine große Rolle. Zunehmend wird sie auch bei nicht-technischen Objekten angewandt, wie beispielsweise bei der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln oder bei der Identifizierung und Authentifizierung von Personen. Weitere Einsatzgebiete sind dreidimensionale Modellierung von Objekten für virtuelle Realität, der Multimedia- und Spielebereich.

Für die dreidimensionale Vermessung von Gegenständen wird seit vielen Jahren das Prinzip des "codierten Lichtansatzes" (CLA) verwendet. Dabei beleuchtet ein Projektor ein Objekt nacheinander mit verschiedenen Lichtmustern, mit strukturiertem Licht. Eine Kamera nimmt Bilder des so beleuchteten Objektes auf. Projektor, Kamera und Objektpunkt bilden dabei ein Dreieck. Zur Berechnung der Punktkoordinaten auf der Objektoberfläche wird die Triangulation eingesetzt. Voraussetzung dafür ist, daß die räumlichen Positionen von Projektor und Kamera in einem festen Koordinatensystem vorher bekannt sind. Außerdem muß für jeden Punkt des Objektbildes ein Winkel Φ bekannt sein, unter dem der Projektor den Objektpunkt beleuchtet (Fig. 2). Die anfangs bekannten Positionsdaten werden durch einen Kalibrivorgang gewonnen, der zu einem Objektpunkt zugehörige Kamerawinkel κ des Sichtstrahles der Kamera ist durch die Bildpunktkoordinaten und durch die Daten aus der optischen Kamerakalibrierung bekannt.

Der "Codierte Lichtansatz" löst die Bestimmung des Winkels Φ dadurch, daß nacheinander eine Reihe von streifenförmigen Lichtmustern mit varierender Streifenbreite auf das ruhende Objekt projiziert wird und davon jeweils Bilder aufgenommen werden und daß die hellen und dunklen Bildpunkte des so beleuchteten Objektes für jeden Bildpunkt getrennt zu einer Codierung zusammengesetzt werden, so daß aus der Codierung auf den Projektionswinkel Φ geschlossen werden kann.

Weil bei diesem Verfahren jeder Objektpunkt während sämtlicher Bildaufnahmen mit den verschiedenen projizierten Mustern seine Lage beibehalten muß, eignet dieses Verfahren sich gut für statische, unbewegte Objekte, jedoch nicht für bewegte oder sich verformende Objekte. Demnach ist der Einsatz bei der Personenidentifizierung für Gesichter oder andere Körperteile oder bei bewegten Objekten auf einer Transporteinrichtung nicht zu empfehlen. Zur Verbesserung des Verfahrens wurden verschiedenartige Vorschläge gemacht.

In der Literaturstelle [1] wird vorgeschlagen, nur ein einziges Muster zu projizieren und dieses Muster aus Gruppen von farbigen vertikalen Streifen zusammenzusetzen, die aus Teilgruppen bestehen, welche im gesamten Muster einzigartig sind und dadurch im Bild einer Farbkamera identifiziert werden können. Wenn diese Teilgruppen nicht gestört oder beschädigt werden, kann aus ihnen für jeden Farbstreifen die Projektor-Lichtebene bestimmt und die Triangulation durchgeführt werden. Je länger jedoch die Teilgruppen sind, um so wahrscheinlicher sind Störungen, die beispielsweise durch Tiefensprünge oder Verdeckungen am Objekt entstehen. Dies führt zu nicht oder falsch identifizierten Gruppen und damit zu Fehlern bei der dreidimensionalen Koordinatenbestimmung.

In der Literaturstelle [2] ist bei Untersuchungen bei Gruppen der Länge 6 mit vier Farben bei simulierten Störungen

der Muster herausgefunden worden, daß bis zu 20% aller Streifen nicht bestimmt werden konnten und bis zu ca. 8% falsch entschieden wurden. Daher muß diese Methode der Bestimmung der Streifennummer aus horizontalen Gruppen von vertikalen Farbstreifen als nicht zufriedenstellend bewertet werden.

Allgemein kann gesagt werden, daß zur Bestimmung des Projektionswinkels eines Oberflächenpunktes eines Objektes dessen Umgebung betrachtet werden muß, wenn nur ein einziges Muster projiziert werden soll. Je größer die Umgebung eines Bildpunktes ist, die zur Bestimmung (Decodierung) des Projektionswinkels nötig ist, desto größer ist das Risiko der Beschädigung der Codierung durch Tiefensprünge oder Verdeckungen.

15 Eine Lebersicht über bekannte Verfahren zur dreidimensionalen Vermessung bietet die Literaturstelle [3].

Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, eine zuverlässige Lichtcodierung zur dreidimensionalen Bestimmung von Oberflächenkoordinaten eines Objektes bei Verwendung nur eines einzigen projizierten Musters bereitzustellen, womit Verfälschungen durch fehlerhafte Auswertung der Codierung oder durch eine Bewegung des Objektes eliminiert sind.

20 Die Lösung dieser Aufgabe geschieht durch die Merkmalskombination entsprechend Anspruch 1.

Vorteilhafte Ausgestaltungen können den Unteransprüchen entnommen werden.

Die Erfindung beruht darauf, daß zweidimensionale Farbmuster aus einzelnen Musterelementen zusammengesetzt werden können, die sich farblich oder in ihrer spektralen Zusammensetzung in einer vorgegebenen Art unterscheiden lassen und bei denen der Projektionswinkel Φ im aufgenommenen Bild des mit dem Farbmuster beleuchteten Objektes eindeutig rekonstruiert und jedem Musterelement zugeordnet werden kann. Dies geschieht, indem die Farbe bzw. die spektrale Zusammensetzung eines ausgewählten Musterelementes gemessen wird und indem diese Farbe oder spektrale Zusammensetzung mit einem der in einer Zeile, welche beispielsweise ungefähr horizontal ausgerichtet ist, benachbarten Musterelementen und mit einem der in einer Nachbarzeile befindlichen benachbarten Musterelementen verglichen wird.

30 Die Codierung für ein Musterelement besteht dabei also aus der Farbe des Musterelementes selbst und aus dem Farb- oder Spektral-Unterschied zu einem seiner Nachbarn in vorzugsweise horizontaler Richtung und einem seiner Nachbarn in einer Richtung, die ungefähr senkrecht dazu liegt. Damit ist die zur Codierung nötige lokale Umgebung auf ein Minimum, nämlich auf zwei der unmittelbaren Nachbarn beschränkt. Die Codierung ist derart ausgelegt, daß in einem Farbmuster die Kombination des einen aktuell betrachteten Musterelementes mit einem seiner unmittelbar benachbarten Elementen in der Zeile und mit einem seiner unmittelbar benachbarten Elementen aus einer Nachbarzeile in Richtung der Zeile einzigartig ist.

35 Die geometrische Form der Musterelemente kann beliebig sein, beispielsweise polygonförmig (Dreieck, Viereck, Sechseck...) oder auch kreisförmig. Die Richtungen der vorzugsweise horizontalen Nachbarschaft innerhalb einer Zeile und der vorzugsweise vertikalen Nachbarschaft in Richtung auf eine Nachbarzeile müssen nicht aufeinander senkrecht stehen, können sich jedoch um 90° unterscheiden. Es ist vorteilhaft, ein Farbmuster aus Musterelementen zusammenzusetzen, die längliche Rechtecke darstellen. Insbesondere werden kurze, vertikal stehende Streifen eingesetzt, die sich in horizontaler und in vertikaler Richtung systematisch in ihren Farben oder in ihrer spektralen Zusammensetzung unterscheiden. Werden z. B. acht verschiedene Farben verwendet, beispielsweise additiv aus den drei Grundfarben

BEST AVAILABLE COPY

rot, grün, blau zusammengezeichnet, die mit den Zahlen 0, 1, 2, ..., 7 bezeichnet werden, so kann ein Teil des Farbmusters aus der horizontalen Anordnung von acht vertikalen Streifenabschnitten mit den Farben 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 bestehen, und ein anderer Teil des Farbmusters aus der Anordnung 0, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Diese beiden Teile lassen sich alleine durch einen Vergleich mit einem der horizontalen Nachbarn unterscheiden, weil bei der ersten Gruppe der Unterschied der Farbnummern aufsteigend und bei der zweiten Gruppe (modulo 8!) absteigend ist. Nebeneinander angeordnet ergibt sich z. B. die Farbsequenz der Länge 16: "0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1". Diese kann periodisch mehrmals nebeneinander, also in einer Zeile wiederholt werden. Um die verschiedenen Perioden des gesamten Farbmusters voneinander unterscheiden zu können, wird oberhalb und unterhalb dieser Streifensequenz, d. h. in benachbarten Zeilen eine andere Streifensequenz angeordnet, deren Farbnummern sich in vertikaler Richtung durch verschiedene Differenzen der Farbnummern unterscheiden lassen.

Um die Anzahl der Musterelemente bzw. deren Größe an die Oberflächenstruktur und an die geforderte Genauigkeit der Auflösung anzupassen, wird das Farbmuster mit entsprechend langen Zeilen mit wiederholten Sequenzen und aus einer Vielzahl von zumindest zwei unterschiedlich ausgebildeten Nachbarzeilen aufgebaut. Aus dem zweidimensionalen Farbmuster lässt sich im aufgenommenen Kamerabild innerhalb der Sequenzen, also innerhalb einer Zeile die horizontale Position eines Oberflächenpunktes innerhalb der Sequenz und damit der Projektionswinkel Φ bestimmen. Die horizontale Position eines Musterelementes ist also direkt umrechenbar auf den Projektionswinkel Φ . Insgesamt ist jede Farbe eindeutig klassifizierbar und von jeder anderen unterscheidbar.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, zwischen zwei Zeilen einen Trennstreifen mit einer von sämtlichen Mustertönen unterschiedlichen Farbe oder spektralen Zusammensetzung zu plazieren. In dieser Variante ist die Farbgleichheit zweier in Nachbar-Zeilen unmittelbar benachbarter Musterelemente zugelassen.

Im folgenden werden anhand von schematischen Figuren Ausführungsbeispiele beschrieben.

Fig. 1 zeigt Mustersequenzen S1 und S2 sowie ein daraus aufgebautes Farbmuster,

Fig. 2 zeigt ein Schema zur Berechnung von dreidimensionalen Koordinaten an einer Objektoberfläche mit einer Farbmusterprojektion,

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus einem Farbmuster,

Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem Farbmuster, wo bei zwischen den Zeilen Trennstreifen vorhanden sind.

In der **Fig. 1** sind im oberen Teil zwei Mustersequenzen S1 und S2 dargestellt. Die Sequenz S1 besteht hier aus zwei gleichen Hälften 7, 8. Die Sequenz S2 besteht aus zwei ungleichen Teilen 71, 81. Die Zahlen entsprechen jeweils einer im Farbmuster vorhandenen Farbe, wie es im unteren Teil der **Fig. 1** dargestellt ist. In dem im mittleren Teil der **Fig. 1** dargestellten Farbmuster 9 sind die Mustersequenzen S1 und S2 als Doppelzeile insgesamt viermal untereinander gereiht. In dieser Mustersequenz ist die horizontale Differenz zwischen zwei benachbarten Musterelementen 10 größer als 1. Die vertikale Differenz ist für die erste Hälfte (7, 71) entweder 1 oder -7, was bei 8 verschiedenen Farben gleichwertig ist. Die in **Fig. 1** dargestellten Teilsequenzen 7, 8 der Mustersequenz S1 enthalten alle Variationen, d. h. Teilmengen unter Beachtung der Reihenfolge, von zwei aus acht Ziffern mit horizontalen Differenzen, die $\neq 1$ sind. Auch die um in der vertikalen Differenz 1, 2 oder 3 (modulo 8) erhöhten Nummern haben die genannten Eigenschaften, so daß sich die Mustersequenz S2 als Nachbarzeile zur Sequenz S1 eignet.

net, damit sich durch den Vergleich eines Musterelementes mit unmittelbar benachbarten Musterelementen aus benachbarten Zeilen ein Farbunterschied ergibt, mit dessen Hilfe sich die erste Hälfte 7, 71 der Sequenzen S1 und S2 von der zweiten Hälfte 8, 81 unterscheiden läßt, so daß trotz der Wiederholung der Teilstsequenz 7, 8 jedes Musterelement durch Vergleich der Elemente in der Nachbarzeile in der Gesamtssequenz in Zeilenrichtung eindeutig lokalisierbar ist. Das Farbmuster 9 kann um weitere Sequenzen in Zeilenrichtung erweitert werden, welche andere vertikale Farbnummerdifferenzen, z. B. 0, 3 und 4, aufweisen. Nachdem in einem Farbmuster 9 jeweils unterschiedliche Farben aneinanderstoßen und Grenzbereiche oder Grenzonen bilden, kommt es darauf an, die Farbunterschiede zu detektieren. Soll beispielsweise anstelle der vertikalen Differenz von 1 oder -7 die vertikale Differenz = 0 sein, d. h. die Farbgleichheit zwischen vertikal benachbarten Musterelementen 10 wird zugelassen, so müssen in vorteilhafter Weise horizontale Trennstreifen 13 zwischen den Zeilen 4 eingefügt sein. Diese Trennstreifen weisen eine zu sämtlichen Farben der Musterelemente 10 unterschiedliche Farbe auf. Die Farbe der Trennstreifen kann vorzugsweise schwarz sein. In diesem Fall kann beispielsweise, wenn der vertikale Unterschied zwischen benachbarten Musterelementen = 0 ist, die Unterscheidung zwischen den Musterelementen benachbarter Zeilen vorgenommen werden, weil beispielsweise schwarze Trennstreifen 13 die Grenzen zwischen Musterelementen in vertikaler Richtung darstellen.

Zur Decodierung der absoluten Position eines Musterelementes 10 innerhalb einer Sequenz im Kamerabild ist zunächst seine Farbe zu bestimmen. Das Ziel ist, die Bestimmung des Projektionswinkels Φ . Um im Bild seine Nachbarn zu finden, sind die Konturen des am Objekt 3 projizierten und durch die Kameraoptik abgebildeten Musterelementes zu bestimmen. Dieses ist im Bild allgemein nicht rechteckig und nicht genauso wie im projizierten Muster ausgerichtet. Die zu detektierenden Konturen sind die Grenzen zu den benachbarten Musterelementen 10. Durch eine vorausgegangene Kalibrierung von Projektor 1 und Kamera 2 und durch die vorzugsweise horizontale Ausrichtung der Zeilen im Projektionsmuster kann die Ausrichtung der Musterelemente und Sequenzzeilen im Bild rekonstruiert werden. Wenn eine der Konturen des Musterelementes überschritten wird, verändert sich der Farbwert bzw. die spektrale Zusammensetzung. Dieser bzw. diese kann zum Vergleich der Farbnummern mit dem Nachbarelement gemessen werden.

Bei Störungen und bei Fällen unsicherer Entscheidung kann auch der Vergleich der berechneten dreidimensionalen Koordinaten mit denen der Umgebung eines Objektpunktes 6 zur Vermeidung oder Korrektur von Fehlern beitragen. Dies entspricht einem Abgleich der errechneten Oberfläche im dreidimensionalen Modell.

Anstelle eines herkömmlichen Projektors mit Diapositiv kann auch ein steuerbarer Bildmatrix-Projektor verwendet werden, welcher durch ein Videosignal gesteuert wird und mit einer aktiven Matrix von Lichtmodulatoren das im Videosignal enthaltene Musterbild erzeugt und mit einer Optik auf das Objekt 3 projiziert. Die Lichtmodulatoren der bildzeugenden gesteuerten Matrix können LCD-Elemente für Durchlichtdämpfung oder solche mit reflektierenden Schichten sein. Es können auch Matrizen von Mikrospiegeln, Laserdioden oder anderen lichtzeugenden Elementen eingesetzt werden. Schließlich kann ein flächiges Farbmuster 9 auch durch das zeilenweise Bewegen, Scannen, wie beim Fernsehen, einer einzigen Lichiquelle über einen Raumsektor erzeugt und projiziert werden. Die verschiedenen Technologien zur Lichtmodulation können in solche mit Lichterzeugung, mit Lichtdämpfung beim Durchgang von

Licht, mit Lichtreflexion oder durch zweidimensionales Scannen unterteilt werden.

Ein Vorteil der Mustererzeugung mit einem steuerbaren Matrixprojektor im Vergleich zur Projektion eines festen Diapositives liegt darin, daß nach Auswertung eines zuerst aufgenommenen Referenzbildes das anschließend erzeugte Muster in seiner lokalen Helligkeit, seinem Kontrast oder in der Anzahl oder Auswahl der Farben gesteuert und damit optimal an die Eigenschaften des Objektes in Bezug beispielsweise auf seine Helligkeit oder Farbe angepaßt werden kann.

Fig. 2 zeigt ein Schema für eine dreidimensionale Koordinatenvermessung durch Triangulation mit Farbprojektion. Zur Triangulation sind der Projektor 1, die Kamera 2 und das Objekt 3 an den Ecken eines Dreiecks angeordnet. Die Strecke zwischen Projektor 1 und Kamera 2 wird als Basis 14 bezeichnet und ist bekannt. Der Projektor 1 bildet ein Farbmuster 9 auf der Oberfläche eines Objektes 3 ab. Zu vermessen sind eine Vielzahl von Oberflächenpunkten 6 des Objektes 3, wobei jeweils die dreidimensionalen Koordinaten des Objektpunktes ermittelt werden. Zur Berechnung wird vorzugsweise das Verfahren der Triangulation eingesetzt. Bei diesen Berechnungen sind zum einen der Kamerawinkel κ und zum anderen der Projektionswinkel Φ wichtig. Durch den Winkel Φ kann jedem Objektpunkt 6 eine Position relativ zu Projektor 1 und Kamera 2 zugeordnet werden. Der zugehörige Winkel κ des Sichtstrahles der Kamera ist durch die Bildpunktkoordinaten und die Daten aus der optischen Kamerakalibrierung bekannt. Die in **Fig. 2** durch ein Farbmuster 9 in Form einer aufeinander folgenden Reihe verschiedener Farben angegebene Beleuchtung stellt eine Codierung dar, mittels der die Position eines Musterelementes in dieser Sequenz eindeutig ermittelbar ist. Die Buchstaben R-G-B stehen für Rot-Grün-Blau.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt entsprechend dem Abschnitt III-III in **Fig. 1**. Dabei sind die entsprechend der Codierung in Bezug zu bringenden Elemente des Farbmusters 9 gekennzeichnet. Ein aktuell betrachtetes Musterelement 10 ist benachbart von Musterelementen 11, die in diesem rechtwinkligen System horizontal benachbart sind und von Musterelementen 12, die vertikal benachbart sind, also in benachbarten Zeilen auftreten. Die Zeilen 4 stehen ungefähr senkrecht zu Spalten 5.

Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem Farbmuster 9 mit Zeilen 4 und Spalten 5, wobei Musterelemente 10 markiert sind. Durch die zwischen den Zeilen 4 vorhandenen Trennstreifen 13 mit einer zu den Farbelementen unterschiedlichen Farbe wird die Variante der Erfindung angedeutet, die auch eine Farbgleichheit von in Spalten 5 benachbarten Musterelementen zuläßt.

Entsprechend der Erfindung wird ein zweidimensionales Farbmuster, bestehend aus farbigen Musterelementen 10, verwendet, das außer in der Farbe eines Musterelements auch in den Beziehungen zu den unmittelbaren Nachbarn dieses Musterelementes Informationen enthält, d. h. codiert ist. Durch die Bestimmung dieser Farben zusammen mit den Nachbarschaftsbeziehungen kann auf die Position im Farbmuster zurückgeschlossen werden. Es gelingt damit ein äußerst kompaktes und daher störungssicheres Muster für die Codierung des Projektionswinkels Φ für die dreidimensionale Vermessung durch die aktive Triangulation herzustellen. Somit ist es möglich, durch ein einziges Muster, das mit einem Projektor 1, üblicherweise einem Diaprojektor, auf ein zu vermessendes Objekt projiziert wird, eine Codierung zur Positionserkennung von Objektpunkten 6 aufzubringen. Somit entfällt das Erfordernis, entsprechend dem codierten Lichtansatz mehrfache Belichtungen mit wechselnden Mustern durchzuführen. Entsprechend der Erfindung ist eine

einzige Beleuchtung mit diesem einzigen Muster ausreichend. Falls zur Erhöhung der Erkennungssicherheit ein Referenzbild bei gleichmäßiger weißer bzw. spektral gleich verteilter Objektleuchttung aufgenommen werden soll, wären maximal zwei Beleuchtungen erforderlich. Die Aufnahme eines Referenzbildes, eines normalen Farbbildes, das die Eigenfarben des Objektes wiedergibt, ist zur Bestimmung der Farben im Bild insbesondere bei farbigen Objekten hilfreich. Bei Objekten mit schwacher Farbvariation, zum Beispiel bei grauen oder weißen Objekten, genügt eine Bildaufnahme des Objektes mit projiziertem Muster für die Ermittlung der dreidimensionalen Koordinaten.

Anwendungsfälle für die Erfindung sind insbesondere die Erfassung der Gesichtsform einer Person, die Gesichtserkennung oder auch die Erkennung von Gesten. Eine Zusammenfassung der Vorteile ergibt folgendes:

- es ist lediglich die Projektion eines einzigen Musters notwendig,
- die Codierung ist durch die Beschränkung auf die alernächsten Nachbarschaftsbeziehungen durch Vergleich in horizontaler und vertikaler Richtung äußerst störungsfrei,
- die horizontale und vertikale Codierung geschieht gleichzeitig,
- durch die Verwendung der waagerecht und senkrecht benachbarten Musterelemente eines aktuell zu detektierenden Musterelementes geschieht weiterhin eine Minimierung des Ortsbereiches bei der Codierung, da diagonal benachbarte Elemente nicht berücksichtigt werden,
- die Codierung ergibt die eindeutige Bestimmung eines Musterelementes im projizierten Farbmuster in Zeilenrichtung und damit die Bestimmung des Projektionswinkels Φ , wobei anschließend durch Triangulation die dreidimensionalen Koordinaten dieses Objektpunktes 6 berechenbar sind,
- die Aufnahme eines Referenzbildes ermöglicht eine Störlichtkompenstation, wobei das Referenzbild ohne Einfarbmuster mit gleichmäßiger Beleuchtung aufgenommen wird.

Literaturhinweise

[1] K. L. Boyer, A. C. Kak, "Color-Encoded Structured Light for Rapid Active Ranging", IEEE PAMI 9 (1), 1987
[2] H. Hügli, G. Maître, "Generation and Use of Color Pseudo Random Sequences for Coding Structured Light in Active Ranging", SPIE Vol. 1010 Industrial Inspection, 1988
[3] X. Jiang, H. Bunke, "Dreidimensionales Computersehen", Springer Verlag 1997

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von dreidimensionalen Oberflächenkoordinaten mit
 - der Beleuchtung eines Objektes (3) mit einem Farbmuster (9) bekannter Struktur durch einen Projektor (1) und der Aufnahme eines Objektbildes durch eine Kamera (2), wobei Farbmuster aus Musterelementen mit jeweils unterschiedlicher Farbe oder jeweils unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung des projizierten Lichtes oder einer Kombination daraus bestehen,
 - der einmaligen Projektion des Farbmusters (9) auf das Objekt (3) zur Bildaufnahme, wobei das

BEST AVAILABLE COPY

Farbmuster (9) mindestens zwei benachbarte Zeilen (4) mit einer Vielzahl von Musterelementen (10) aufweist, wobei jeweils ein Musterelement (10) sich farblich oder in der spektralen Zusammensetzung des projizierten Lichtes unterscheidet von sowohl einem innerhalb der Zeile benachbarten Musterelement (11), als auch von einem in einer Nachbarzeile befindlichen benachbarten Musterelement (10), womit die Position des Musterelementes (10) in der Zeile (4) im Farbmuster (9) 10 des aufgenommenen Bildes eindeutig ermittelt werden kann und diesem Musterelement (10) ein Projektionswinkel (Φ) zugeordnet wird, mit dem sich bei bekannter Relativposition zwischen Kamera (2) und Projektor (1) die dreidimensionalen 15 Koordinaten betrachteter Objektpunkte ermitteln lassen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für jedes betrachtete Musterelement (10) die Kombination mit einem seiner unmittelbaren Nachbarn in der Zeile zusammen mit einem seiner unmittelbaren Nachbarn aus einer Nachbarzeile für das Farbmuster in Zeilenrichtung einzigartig ist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen der Musterelemente (10) im Bereich des ultravioletten oder infraroten Lichtes liegen.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Musterelemente (1) einer Zeile (4) in Gruppen zu einer Sequenz zusammengefaßt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei in jeweils einer Zeile mehrere gleiche Sequenzen (7; 8) aneinandergereiht sind.
6. Verfahren nach Anspruch 4, wobei in jeweils einer Zeile mehrere unterschiedliche Sequenzen (71; 81) aneinandergereiht sind.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Umriß der Musterelemente (10) vieleckig ist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei Musterelemente 40 rechteckig ausgeführt sind und das Farbmuster (9) senkrecht zueinander ausgerichtete Zeilen (4) und Spalten (5) aufweist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die vertikal benachbarten Zeilen (4) im 45 Farbmuster (9) vertikal mehrmals aneinandergereiht sind.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Unterscheidung von Musterelementen (10) zwischen 3 bis 64 verschiedene Farben 50 oder spektrale Zusammensetzungen verwendet werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei jeweils zwischen zwei Zeilen Trennstreifen (13) mit einer von sämtlichen Mustersfarben 55 unterschiedlichen Farbe oder spektralen Zusammensetzung vorhanden sind und in nicht horizontaler Richtung die Farbgleichheit zweier benachbarter Musterelemente (10; 12) zugelassen wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Minimierung von Störeffekten durch Umgebungslicht oder durch Objektfarben ein Referenzbild mit gleichmäßig weißer bzw. spektral gleichverteilter Beleuchtung aufgenommen wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei als Projektor 65 ein Rasterbildprojektor eingesetzt wird dessen Bildpunkte in Farbe und Helligkeit steuerbar sind, so daß nach Auswertung eines zuerst aufgenommenen Refe-

renzbildes das anschließend erzeugte Farbmuster in seiner lokalen Helligkeit, seinem Kontrast oder in der Anzahl oder Auswahl der Farben gesteuert werden kann, um das Muster optimal an Farbe und Helligkeit des Objektes anzupassen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

Mustersequenz S1
03627514241502537130461731635726052064740362751424150253713046173163572605206474

7

Mustersequenz S2
14730625352613640241572042746037163175052504173646372475135260315305714027420616

71

81
81

III

7
7
7
III

03627514241502537130461731635726052064740362751424150253713046173163572605206474
 14730625352613640241572042746037163175052504173646372475135260315305714027420616
 03627514241502537130461731635726052064740362751424150253713046173163572605206474
 14730625352613640241572042746037163175052504173646372475135260315305714027420616
 03627514241502537130461731635726052064740362751424150253713046173163572605206474
 14730625352613640241572042746037163175052504173646372475135260315305714027420616
 03627514241502537130461731635726052064740362751424150253713046173163572605206474
 III → 14730625352613640241572042746037163175052504173646372475135260315305714027420616

0=schwarz, 1=grün, 2=gelb, 3=rot, 4=lila, 5=weiß, 6=blaugrün, 7=dunkelblau

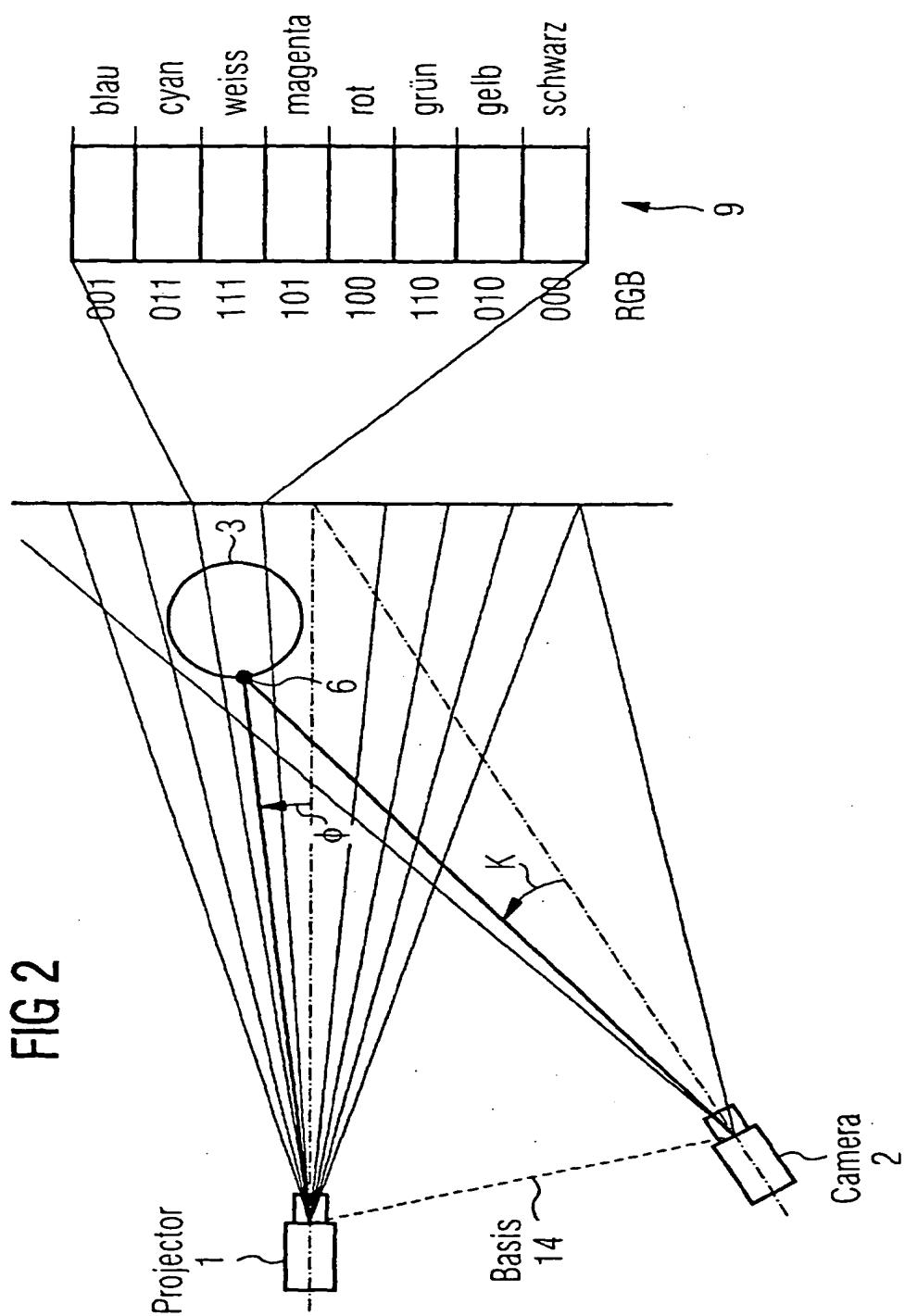


FIG 3

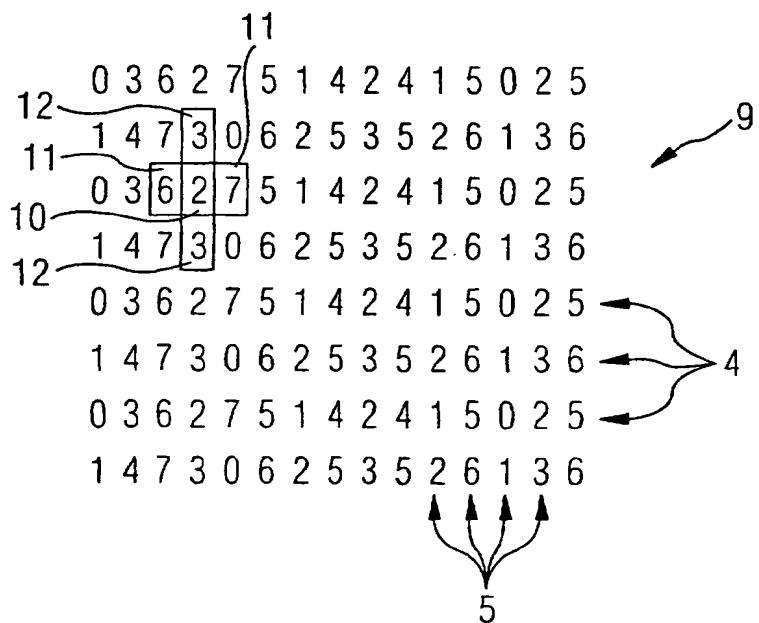


FIG 4

